心理科学进展 2020, Vol. 28, No. 6, 871–882
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2020.00871

·研究构想(Conceptual Framework)·

中文阅读中副中央凹预加工的范围与程度*

张慢慢 臧传丽 白学军

(教育部人文社会科学重点研究基地天津师范大学心理与行为研究院, 天津师范大学心理学部,
国民心理健康评估与促进协同创新中心, 天津 300387)

摘 要 在阅读中, 读者既能加工当前注视的中央凹视觉区的信息, 也能从副中央凹视觉区提取信息并利用该信息预先加工下文词汇, 称为预加工或预视。它是熟练阅读的一个关键环节。对副中央凹信息的预加工涉及预视的空间范围和预视程度(即预视量和预视类型)。在拼音文字阅读的研究中, 关于预视范围与预视程度如何受中央凹加工负荷和副中央凹预加工负荷的调节存在争议, 一个主要的原因是拼音文字词长变异大, 在考察预视程度时难以克服预视范围的干扰。而中文词长变化小, 能有效分离预视范围与预视程度。利用中文优势, 采用眼动技术来考察: (1)副中央凹预加工负荷如何影响预视范围, (2)中央凹加工负荷如何影响预视范围与预视程度, (3)阅读能力与阅读效率如何调节预视范围与预视程度, 结果将有助于解决副中央凹预视研究中的理论争论, 为预测阅读能力与衡量阅读效率提供更多有效的眼动行为指标。

关键词 中文阅读; 预视范围; 预视程度; 眼动
分类号 B842

1 研究背景

1.1 提取文本信息的有效范围

在阅读过程中, 由于视敏度和注意资源的限制, 读者每次注视能提取有效信息的范围(即知觉广度)十分有限(McConkie & Rayner, 1975; Rayner & Bertera, 1979), 如图 1 所示。拼音文字阅读(如英文)的知觉广度是从注视点左侧 3~4 字母到右侧 14~15 字母之间, 中文阅读知觉广度是从注视点左侧 1 个汉字到右侧 2~3 个汉字之间(Chen & Tang, 1998; 闫国利, 王丽红, 巫金根, 白学军, 2011)。知觉广度显示了读者对右侧副中央凹视觉区 (parafoveal region) 的注意分配优势(如, McConkie & Rayner, 1976; Miellet, O'Donnell, & Sereno, 2009), 它随着阅读能力的提高或阅读材料难度的降低而增大(熊建萍, 闫国利, 白学军, 2009; 闫国利, 伏干, 白学军, 2008; Häikiö, Bertram, Hyönä, & Niemi, 2009; Rayner, 1986)。例如, 在拼音文字阅读中, Rayner (1986)比较了不同年级小学生的知觉广度, 以及小学四年级学生在阅读不同难度材料时的知觉广度。结果发现, 小学二年级儿童的知觉广度右侧范围在 11 字母内, 而小学四、六年级儿童的知觉广度右侧范围则增大到 14~15 字母内。在阅读难文本和简单文本时, 四年级儿童的知觉广度从 1 个词(当前词)扩大到了 3 个词(当前词和右侧两个词)。Veldre 和 Andrews (2014)对比了高、低阅读能力的大学生读者的知觉广度, 结果发现, 低阅读能力读者的知觉广度右侧范围为 11 个字母左右, 显著小于高阅读能力读者(大于 15 个字母); 但两组读者的知觉广度的左侧范围没有差异。对比青年与老年读者的知觉广度发现, 两组读者都能从知觉广度左侧 1 个词上提取信息, 但老年读者右侧范围是 1 个词, 青年读者则是 2 个词(Rayner, Castelhano, & Yang, 2009)。在中文阅读知觉广度中, 大学生和小学五年级儿童的左侧范围都是 1 个汉字, 但是五年级儿童的右侧范围为 1~2 个字, 而大学生的则为

收稿日期: 2019-04-24
* 国家自然科学基金项目(31800920)。
通信作者: 张慢慢, E-mail: zhangmanman289@126.com; 臧传丽, E-mail: zangchuanli@163.com

2~3 个字(闫国利 等, 2011)。根据这些研究可知, 知觉广度的变化主要涉及注视点右侧副中央凹预视范围的变化, 注视点左侧范围变化不明显。

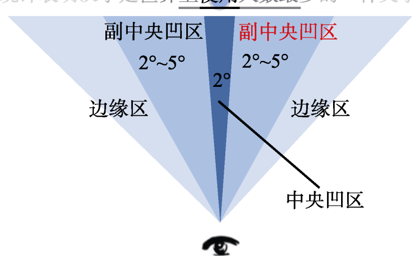


图 1 不同视觉区在阅读文本中的分布示意图

注：假设一个汉字所占视角为 1°, 在"使用"上的圆点表示眼睛的注视位置, 文字颜色深浅表示视敏度下降造成的文本视觉成像模糊; 阅读知觉广度反映了注意系统的分布, 不等同于视觉区分布; 下划线内容表示中文阅读知觉广度的范围, 本研究关注注视点右侧副中央凹视觉区的预视情况。

1.2 副中央凹预视

研究者通常使用边界范式(boundary paradigm; Rayner, 1975)来探讨副中央凹预视(或预加工; parafoveal preview/pre-processing)。具体原理为, 在紧挨着目标词的左侧设置一个隐形边界。在眼睛越过边界前, 呈现预视内容; 当眼睛越过边界时, 预视内容被目标词取代。预视呈现发生变化是在眼跳过程中。由于眼跳抑制视觉信息的提取, 因此预视呈现变化通常不会被读者意识到(Rayner, 1975)。与无效预视相比, 从副中央凹提取的有效预视信息能减少对目标词的加工时间, 即产生了副中央凹预视效益或预视效应(parafoveal preview benefit effect; Rayner, 1998, 2009), 其中, 减少的时间量即为预视量。预视又分为字形、语音和语义预视(白学军, 刘娟 等, 2011; Schotter, Angele, & Rayner, 2012)。预视量与预视类型反映了读者对副中央凹词汇的加工程度, 即预视程度(the extent/depth of parafoveal pre-processing)。读者提取预视信息的空间范围称为预视范围(the spatial extent of parafoveal pre-processing; Schotter, Reichle, & Rayner, 2014; Zhang, Liversedge, Bai, Yan, & Zang, 2019)。

副中央凹预视在阅读眼动控制中发挥着重要作用(白学军, 刘娟 等, 2011; Clifton et al., 2016)。第一, 预视影响眼睛落在哪里。从副中央凹获得的词边界、词长及词的正字法信息决定了向前眼跳长度以及落在单词上的注视位置(李玉刚, 黄忍, 滑慧敏, 李兴珊, 2017; Hyönä, 1995; Inhoff, Radach, Eiter, & Juhasz, 2003; Juhasz, White, Liversedge, & Rayner, 2008; Rayner, 2009; McConkie & Rayner, 1975; Liu, Reichle, & Li, 2015, 2016; Rayner, 1975; White & Liversedge, 2006; White, Rayner, & Liversedge, 2005)。第二, 预视影响注视时间。有效预视(主要指正字法、语音、字母位置方面)一般会使读者对副中央凹词的注视时间减少 30~50 ms (Rayner, 2009)。第三, 词长、预测性和词频等预视信息决定是否跳读该词。平均约 30%~50%的副中央凹词会被跳读(臧传丽, 鹿子佳, 白玉, 张慢慢, 2018; Angele, Laishley, Rayner, & Liversedge, 2014; Brysbaert, Drieghe, & Vitu, 2005; Liversedge et al., 2014; Schotter et al., 2012; Zang, Fu, Bai, Yan, & Liversedge, 2018)。使用移动窗口范式的研究表明, 从整体上来看, 与副中央凹信息被掩蔽的条件相比, 提供正常的预视使句子阅读速度提高了 20%~40%(Ashby, Yang, Evans, & Rayner, 2012; Rayner, Inhoff, Morrison, Slowiaczek, & Bertera, 1981)。对副中央凹信息进行预加工的能力(the ability to pre-process information)是衡量熟练阅读的一个关键环节(Blythe & Joseph, 2011)。然而, 预加工的可变性使其成为阅读研究中最受争议的内容之一(白学军, 刘娟 等, 2011; 臧传丽, 鹿子佳, 张志超, 2019; Schotter et al., 2012)。前文提到, 预视范围随阅读材料的整体难度增大而缩小(闫国利 等, 2008; Rayner, 1986), 阅读材料整体难度包含中央凹加工难度(中央凹负荷, foveal load; Henderson & Ferreira, 1990; Rayner, 1986)和副中央凹预加工难度(副中央凹负荷, parafoveal load; Yan, Kliegl, Shu, Pan, & Zhou, 2010)。也就是说, 影响副中央凹预视的两大因素是中央凹负荷和副中央凹负荷。

2 副中央凹预视的产生机制与研究现状

2.1 副中央凹预视的产生机制

对副中央凹预视的产生机制的解释主要有两种理论, 即 E-Z 读者模型与 SWIFT 模型。E-Z 读者模型是序列加工理论的代表。它认为, 在词汇开始加工前, 知觉广度内的文本视觉信息提取是

平行的; 而在词汇加工阶段, 注意每次只分布在一个单词上, 单词的加工与识别是按照序列逐个进行的。注意的转移与眼动执行程序是两个相互独立的系统。在完成单词的熟悉性验证(L_1)和词汇通达(L_2)后, 注意开始转移到下一个词上; 与此同时, 副中央凹预加工开始。眼动程序完成的时间一般晚于注意转移的时间, 二者的时间差值就是从下一个词上提取的预视量(Reichle, 2011; Reichle, Pollatsek, Fisher, & Rayner, 1998), 如图 2 所示。

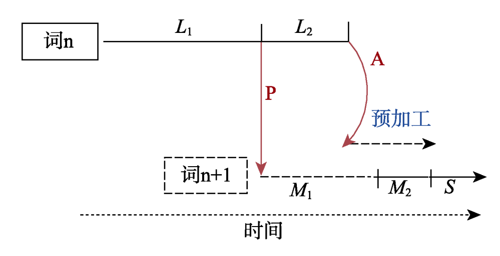


图 2　E-Z 读者模型的词汇加工进程简略图

注: L_1 是熟悉性验证, L_2 是词汇通达, 二者共同代表了当前词 n 的词汇识别过程; P 表示进行下一次眼跳计划, 启动了对词 n+1 的眼动程序 M_1, M_1 是可变的, 之后进入不可变眼动程序 M_2; S 是执行眼跳; A 代表注意, 在 L_2 完成后立即转移到词 n+1 上, 对词 n+1 进行预加工。

SWIFT 模型是平行加工理论的代表, 其核心假设是, 在知觉广度内注意按照梯度同时分布在若干词上(3~4 个), 而且表现出对注视点右侧视觉区的注意分布偏向(如图 3 所示)。读者对知觉广度内几个词的加工是并列进行的, 也就是说副中央凹预视与中央凹词汇加工同时进行。读者对中央凹词的加工效率最高, 对副中央凹词的加工效率随视敏度降低而显著下降。知觉广度内的单词虽然同时被激活, 但是每个单词的激活程度随单词难度增大而增大; 当激活水平达到词汇通达阈限后, 词汇活动逐渐衰减。该模型假设眼动程序是自发进行的, 但受中央凹加工难度制约; 下一个眼跳目标指向激活水平最高的单词(Engbert & Kliegl, 2011; Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005; Schad & Engbert, 2012)。

E-Z 读者模型对预视变化的解释侧重于预视程度, 而 SWIFT 模型则侧重于预视范围。下面分别从预视范围与预视程度来阐述两类模型对预视的具体争论以及相关研究现状。

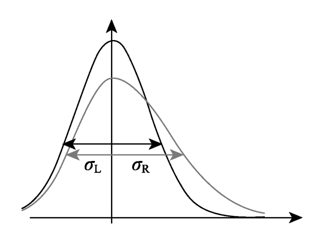


图 3　SWIFT 模型假设的动态注意空间分布示意图

注: 图中显示了一般情况下与中央凹负荷最大情况下注意的两种分布, σ_L 表示注视点左侧的词汇加工效率, σ_R 表示注视点右侧词汇加工效率。资料来源: Engbert & Kliegl, 2011

2.2　副中央凹预视范围的理论争论与研究现状

在预视范围上, E-Z 读者模型假设, 当注意从当前注视词 n 转移到副中央凹词 n+1 上, 并且词 n+1 的预加工达到了词汇通达(L_2)时, 注意会转移到词 n+2 上, 词 n+2 的预加工开始启动。如果中央凹加工或副中央凹预加工变难, 词 n+1 的预视量会变少、词汇通达无法完成, 那么注意将不会转移到词 n+2 上, 词 n+2 的预视信息不能被提取(Reichle, 2011; Schotter et al., 2012)。可见, E-Z 读者模型预测中央凹负荷与副中央凹负荷调节预视的词个数。

根据 SWIFT 模型, 注意资源是恒定的, 但注意的分布(尤其是注视点右侧范围)受中央凹负荷的调节: 如果中央凹负荷高, 注意分布会变得狭窄, 直到仅集中到中央凹词上, 如图 3 所示(Engbert & Kliegl, 2011), 此时副中央凹预加工效率下降, 跳读下一个词的概率减小。也就是说, 预视范围由中央凹负荷决定。

在拼音文字阅读中, 对预视范围的研究关注读者能否预视到词 n+2, 研究结果之间存在较大争议(Schotter et al., 2012; Vasilev & Angele, 2017)。一个重要原因是能否预视到词 n+2 在很大程度上受词 n+1 或词 n+2 词长的调节: 当词 n+1 或词 n+2 为长词时, 预视到词 n+2 的概率或预视量很小(Risse, Engbert, & Kliegl, 2008; Vasilev & Angele, 2017)。在中文阅读中, 当词 n+1 的加工容易或者其预视有效时, 读者可以预视到词 n+2 (王永胜, 陈茗静, 赵冰洁, 李馨, 白宇鸽, 2017; 王永胜 等, 2016; Yan et al., 2010; Yang, Rayner, Li, & Wang, 2012; Yang, Wang, Xu, & Rayner, 2009)。拼音文字阅读与中文阅读的研究共同表明了副中央凹负荷调节预视的词个数。

预视范围除了可以用预视的词个数表示，也可以用预视到的字数或字母数来表示。对预视词 n+1 而言，词 n+1 的词长决定了对该词的注意空间分布(王永胜 等, 2016)，从该词提取正确的词长等空间信息有助于眼跳定位，缩短词汇加工时间，进而促进对该词的加工(Juhasz et al, 2008; Inhoff et al., 2003; White et al., 2005; Zang et al., 2018)。但是，读者对词 n+1 的预视范围(指预视到的字数)是否以及如何受中央凹负荷或副中央凹负荷的调节？这是以往研究及相关理论忽视的问题。

2.3 预视程度的理论争论与研究现状

2.3.1 副中央凹负荷对预视程度的影响

当中央凹词 n 的加工难度一定时，根据前文对 E-Z 读者模型和 SWIFT 模型的介绍，可以看出两类模型对副中央凹负荷调节预视量的预测较为一致，即副中央凹词 n+1 自身的加工负荷越高，可以被提取的预视量越少。

相关研究一致验证了副中央凹负荷对预视量的调节效应。例如，与加工困难(如低频或低预测)的预视词相比，容易加工的预视词(如高频或预测性较高)被提取的预视量更大(Inhoff & Rayner, 1986; Reingold, Reichle, Glaholt, & Sheridan, 2012; Schotter et al., 2012; Sereno, Hand, Shahid, Yao, & O'Donnell, 2018; Zang, Du, Bai, Yan, & Liversedge, 2019)，被跳读的可能性更高，也会导致更长的向前眼跳(Brysbaert et al., 2005; Drieghe, Rayner, & Pollatsek, 2005; Juhasz et al., 2008; Li, Bicknell, Liu, Wei, & Rayner, 2014; Liu et al., 2015; Rayner, 1998, 2009; Rayner, Slattery, Drieghe, & Liversedge, 2011; White & Liversedge, 2006; Zang et al., 2018)。

2.3.2 中央凹负荷对预视程度的影响

E-Z 读者模型认为副中央凹的预视量受中央凹负荷的调节(如图 2)，即当中央凹词 n 的加工难度增大时，对该词的加工时间增长，注意转向副中央凹词 n+1 的时间被推迟，进而导致对下一个词的预视量减少、识别概率与跳读概率减小(Reichle et al., 1998; Reichle & Drieghe, 2013)。

SWIFT 模型假设词汇加工是平行的，由此可推测，当中央凹词 n 的加工负荷高时，对词 n 的注视时间变长，这意味着从副中央凹词 n+1 提取预视的机会更大，获得的预视量更大(Engbert et al., 2005; Kliegl, Hohenstein, Yan, & McDonald, 2013; McDonald, 2005)。显然，这与 E-Z 读者模型的假设相反。

Henderson 和 Ferreira (1990)较早考察了中央凹负荷对预视量的影响。他们操纵了中央凹负荷(低负荷：高频，高负荷：低频)和副中央凹预视类型(相同、相似和不相似非词预视)。结果发现，当中央凹负荷低时，读者能获得的预视量更大；而当中央凹负荷高时，读者能提取的预视量很小，即中央凹负荷效应。他们据此提出了“中央凹负荷假说” (Foveal Load Hypothesis)，认为知觉广度随中央凹负荷增大而变小。但是，Henderson 和 Ferreira 并没有操纵预视范围，而是从预视程度上验证了中央凹负荷对预视的调节作用，因此，中央凹负荷是否调节预视范围还需要进一步验证。

后续的研究结果很不一致。Drieghe 等人(2005)与 White (2007)采用了类似 Henderson 和 Ferreira (1990)的实验操纵，却没有重复验证他们的结果。有研究者认为被试对边界范式中预视变化的敏感性是导致不同结果的一个因素，然而关于预视变化敏感性对预视量的调节方式又存在争议(Veldre & Andrews, 2018; White et al., 2005)。还有研究者认为中央凹负荷对预视量的调节作用只出现在对预视词起跳距离近的情况，不过该结果也没有被很好地验证(Kennison & Clifton, 1995)。与以上不同的是，Schroyens, Vitu, Brysbaert 和 d'Ydewalle (1999)在单词串阅读中发现了中央凹负荷对预视量的反向调节作用，即当中央凹负荷高时，读者注视中央凹词的时间越长，获得的预视量越多，这符合 SWIFT 模型对预视量的解释。然而，关于单词串阅读的结论不能完全推广到自然的句子阅读中。除了预视量，研究者还关注中央凹负荷和预视对眼跳定向(saccade targeting)的影响，相关结果表明中央凹负荷和预视独立影响眼跳目标选择(Drieghe, 2008; White, 2007)。这意味着中央凹负荷与副中央凹预视对注视时间和眼跳定向的影响可能由不同的眼动控制机制决定。

以上研究结论不一致的一个重要原因可能是，这些研究的考察对象是拼音文字，不同研究选用的中央凹单词与副中央凹单词的词长不同，这可能会导致对预视词的加工受到该词空间分布的制约。换言之，这些研究在关注预加工的时间维度时，忽略了预视词空间信息的作用。最近，关于中文阅读的研究显示，在注视时间指标上，当严格控制预视范围时，预视量随着中央凹视觉信息加

工负荷(高负荷：多笔画数；低负荷：少笔画数)的增大而增大(Yan, 2015)，而中央凹词汇信息加工负荷(高负荷：低频；低负荷：高频)对预视量没有影响(Zhang et al., 2019)。在眼跳定向方面，当使用特殊符号※作为目标词及目标词之后内容的无效预视时，中央凹负荷与预视交互影响下一次眼跳长度(Liu et al., 2015; Liu, Yu, & Reichle, 2019)：当预视有效或正常呈现时，中央凹低负荷下的向前眼跳长于中央凹高负荷下的向前眼跳；当预视无效时，两种负荷下的向前眼跳长度无差异。然而，当使用正常文本作为无效预视时，中央凹负荷与预视则独立影响向前眼跳长度(王永胜等, 2018)。对预视"有"或"无"的操纵可能难以全面或灵敏地检验中央凹负荷效应，因此，很有必要探讨中央凹负荷对具体预视类型的影响。另外，中央凹负荷是否会影响预视范围，还缺少相关证据。

2.4　阅读能力与阅读效率对预视范围或程度的调节作用

副中央凹预视是阅读发展中的一个关键环节(Blythe & Joseph, 2011; Rayner, 1986)。目前关于儿童阅读的预视研究数量十分少。对阅读知觉广度的研究发现，在阅读发展的早期阶段，儿童已经开始利用副中央凹信息进行预加工(闫国利，李赛男，王亚丽，刘敏，王丽红，2018; Blythe & Joseph, 2011)。例如，一项德语阅读的研究显示(Marx, Hawelka, Schuster, & Hutzler, 2017)，小学二年级学生(平均 8 岁)已经能获得预视；小学四年级(平均 10 岁)与六年级(平均 12 岁)儿童能获得相当可观的预视量，而且不受中央凹负荷的影响。在中文阅读中，闫国利等人(2011)发现小学五年级学生的知觉广度已接近成人水平，他们可以从副中央凹提取到字形信息。但是还不清楚儿童读者的预视范围、预视类型如何受他们的中央凹加工或副中央凹加工的调节。

对已具有熟练阅读技能的成人来说，阅读效率的个体差异也体现在副中央凹预加工方面。研究发现，高阅读效率读者比低阅读效率读者的预视范围更大，提取的预视信息更多(Chace, Rayner, & Well, 2005; Rayner, Schotter, Masson, Potter, & Treiman, 2016; Rayner, Slattery, & Bélanger, 2010)。当中央凹负荷高时，高阅读效率读者比低阅读效率读者获得的预视量更大；而在中央凹负荷低时，两组读者提取的预视量没有差异(Veldre & Andrews, 2015)。一方面，相比于低阅读效率读者，高阅读效率读者对词汇表征的存储更精确，对副中央凹信息的提取更迅速。另一方面，高阅读效率读者对中央凹词汇加工效率高，可以获得的预视更多(Chace et al., 2005; Veldre & Andrews, 2015)。根据 E-Z 读者模型的解释，高阅读效率读者对当前注视词 n 的熟悉度验证与词汇通达所需要的时间更短，注意转向词 n+1 的时间更早，因而获得的预视量更大，能提取词 n+2 的概率更大。然而，Risse (2014)的研究则表明低阅读效率读者比高阅读效率读者获得的预视量更大。SWIFT 模型可以合理解释该结果：低阅读效率读者对中央凹词的注视更长，意味着对下一个词的预视时间也更长，获得的预视量更大；而高阅读效率读者的词汇加工已达到自动化水平，对当前词的注视时间可能只在眼跳潜伏期的最低限制内，没有额外的时间来预视，但他们极高水平的词汇加工效率可以弥补预视受限制对阅读的影响。由此可见，两种模型对不同阅读效率个体的预加工差异的解释是相互对立的。

3　问题提出

Henderson 和 Ferreira (1990)的"中央凹负荷假说"强调中央凹负荷对预视范围的作用，然而他们的研究只检验了中央凹负荷对预视程度的影响。E-Z 读者模型与 SWIFT 模型对中央凹负荷与预视程度的关系作出了相反的预测，而且分别有实证研究的支持。不过，也有研究没有发现中央凹负荷对预视的调节效应，这是上述理论目前无法解释的。此外，这些理论关注的预视范围都是以词为单元，忽视了单个预视词内的空间信息加工。具体有以下三个问题：

第一，从副中央凹负荷对预视的影响来看，以往研究已经证明了副中央凹负荷影响预视程度(Zang et al., 2019)；副中央凹词 n+1 的加工负荷在一定条件下决定了能否预视到词 n+2(Yan et al., 2010)。但还不清楚的是，副中央凹词 n+1 的加工负荷是否及如何影响对词 n+1 的预视范围。

第二，从中央凹负荷对预视的影响来看，以往研究主要考察了中央凹负荷对预视程度的影响，但是这些研究选用了不同词长的预视词，可能是造成研究结果间存在差异的一个重要原因；或者说，它们忽略了中央凹负荷在预视范围上的可能

作用。因此，中央凹负荷是否及如何调节对词 n+1 的预视程度与预视范围还需进一步考察。

第三，从儿童阅读发展和成人阅读效率对预视的影响来看，以往大部分研究关注熟练的成人阅读，对预视的发展研究十分少。已有的几个相关研究初步揭示了随着阅读能力的提高，儿童读者的知觉广度逐渐扩大，提取的预视量逐渐增大，整体的阅读效率得到提高(闫国利 等, 2011; Blythe & Joseph 2011; Rayner, 1986)。然而，还不清楚儿童的预视范围与预视程度分别如何随他们的中央凹加工或副中央凹加工效率的提高而变化。对成人读者来说，高效率阅读者的预视范围更大(Chace et al., 2005; Rayner et al., 2010; Veldre & Andrews, 2015)，提取的预视量也更大，但还不清楚这是否与他们的中央凹加工或预加工效率更高有关。

4 研究构想

4.1 理想研究对象：中文阅读

拼音文字的一个显著特点是词长变异大。以英文为例，单词构成成分由 26 个字母组成，在一个词单元内，对预视词加工程度的可操纵性较低。要明确预加工的实质，需保证在特定空间单元内能有效操纵预视程度，以及在特定加工难度的单元内能有效操纵预视范围。在此方面，中文更具优势。第一，每个汉字所占空间相同且恒定。中文常用汉字有 7 千多个(Zang, Liversedge, Bai, & Yan, 2011)，这意味着在特定空间内对中央凹负荷和副中央凹负荷的可操纵性非常强，例如“花”和“藕”，二者所占空间相同，但前者加工容易(笔画少、词频高)，后者加工难(笔画多、词频低)；在词汇加工难度一定时，也能有效操纵预视范围，例如“醋”和“化妆品”，二者笔画数与词频相近，但前者所占空间为 1 个字，后者则为 3 个字。第二，中文文本中的词长变异小。词长在 1~3 字的常用词约占 90% (Li, Zang, Liversedge, & Pollatsek, 2015)，而且中文阅读知觉广度的右侧范围为 2~3 字，若使用 1~3 字长的副中央凹目标词时，能保证目标词在可预视范围内。可见，与拼音文字相比，在探讨预视范围与预视程度的三个问题时，中文文本的可操纵性与可控性更强，是非常理想的研究对象。

4.2 研究方案

本项研究旨在以中文阅读为考察对象，采用眼动记录技术并结合边界范式来探讨副中央凹词的预视范围及预视程度。研究思路为，首先关注成人读者，考察熟练阅读中副中央凹预加工的基本特点，之后按照“儿童—普通熟练阅读者—高效率阅读者”这一发展路线，探讨从初学者到熟练阅读者，以及从低效率读者到高效率读者，预视范围与预视程度分别如何变化；进而检验预加工在衡量阅读能力和阅读效率中的有效性。针对本研究提出的三大问题，提出以下研究构想：

4.2.1 副中央凹负荷对预视范围的影响

以往研究对中文预视词的加工程度进行了充分考察，中文读者从副中央凹词 n+1 上可以提取亚词汇、语音、字形和语义信息(白学军, 刘娟 等, 2011)，提取的预视量约为 30~50 ms (Liu, Inhoff, Ye, & Wu, 2002; Pollatsek, Tan, & Rayner, 2000; Tsai, Lee, Tzeng, Hung, & Yen, 2004; Yen, Tsai, Tzeng, & Hung, 2008)。但很少关注词 n+1 的预视范围。研究一将保持中央凹负荷不变，检验副中央凹词 n+1 (三字词)的预视范围及其如何受副中央凹负荷的影响，共有两个实验。实验 1 使用边界范式操纵词 n+1 的预视范围，预视条件包括 0 字、1 字、2 字和 3 字预视(预视窗口以后的内容被假字掩蔽)，同时还包括正常预视条件。实验目的是为了验证预视词 n+1 的最大加工范围，为之后的研究确定预视窗口基线。我们预测，在预视窗口为 3 个字时，对目标词的注视时间和向前眼跳距离与正常条件下相同。实验 2 考察副中央凹负荷对预视范围的影响。以往多数研究及本研究关注中央凹与副中央凹词汇水平的加工情况，词汇的一个重要属性是词频(Clifton et al., 2016; 臧传丽 等, 2012)，因此本研究选择词频来操纵中央凹与副中央凹负荷。实验 2 操纵了副中央凹词 n+1 的加工负荷(高负荷：低频；低负荷：高频)和预视窗口(同实验 1)。我们假设，(1)若副中央凹负荷调节预视范围，根据 E-Z 读者模型可推测，当副中央凹负荷低时，预视范围更广，即 0~2 字预视窗口下，对目标词的注视时间长于且眼跳距离短于 3 字预视或正常预视条件；3 字预视下对目标词的注视时间和向前眼跳距离与正常预视条件无差异。当副中央凹负荷高时，预视范围变窄，即 0 字和 1 字预视下对目标词的注视时间长于且眼跳距离短于其他三种预视条件，其他三种预视下的注视时间和眼跳指标无显著差异。(2)若副中央凹负荷不调节预视范围，无论副中央凹负荷高低，预视范围不变，

在不同预视窗口下的眼动指标没有显著差异。

4.2.2　中央凹负荷对预视范围与预视程度的影响

研究二在保持副中央凹负荷不变时, 通过两个实验分别考察中央凹负荷对预视词的加工范围与程度的影响。由于双字词占大多数, 且被跳读率小(白学军, 刘丽萍, 闫国利, 2008; Zang et al., 2018), 因此, 选用双字词作为中央凹词, 可以充分保证对副中央凹词的预视发生在中央凹词上。实验 3 将探讨中央凹负荷(高负荷: 低频; 低负荷: 高频)对预视范围的影响, 预视词为三字词, 对预视范围的操纵同实验 1。实验 4 检验中央凹负荷是否调节预视量及预视类型, 预视词为单字词, 预视类型有相同、同音、形近、同义和无关预视。整体假设为, 如果中央凹负荷调节预视范围, 根据 SWIFT 模型观点, 预视范围将随中央凹负荷增大而缩小, 表现为, 当中央凹低负荷时, 0~2 字预视下对目标词的注视时间长于且向前眼跳短于 3 字预视和正常预视条件, 而 3 字预视与正常预视下无显著差异; 中央凹高负荷时, 0 字和 1 字预视下的注视时间长于且向前眼跳短于其他预视条件, 2 字预视分别与 3 字预视、正常预视没有差异。如果中央凹负荷调节预视程度, 根据 E-Z 读者模型, 预视量或预视类型将随中央凹负荷增大而减小或减少, 表现为, 与中央凹低负荷条件比, 中央凹负荷高时, 相同、语音、字形预视与假字预视对比的注视时间差(即预视效益)和向前眼跳距离差更小, 同义与假字预视的对比差值可能不明显。相反, 根据 SWIFT 模型, 预视量将随中央凹负荷增大而增大, 表现为, 与中央凹低负荷条件相比, 中央凹高负荷时, 相同、语音、字形和同义预视效益更大且向前眼跳距离差更大。

4.2.3　阅读能力与阅读效率对预视范围与预视程度的影响

研究三以研究一和研究二为参照, 检验阅读能力和阅读效率对预视范围与预视程度的调节作用。

研究三的第一部分将选择适合儿童的目标词及阅读材料, 通过考察儿童对预视词的加工范围与程度来揭示儿童预加工的发展特点。研究思路同前两个研究, 共有 3 个实验。根据以往研究, 11~12 岁(小学五年级)儿童的阅读眼动特点基本与成人一致(梁菲菲, 王永胜, 杨文, 白学军, 2017; Blythe & Joseph, 2011; Huestegge, Radach, Corbic, & Huestegge, 2009; Rayner, 1986), 为了充分保证阅读材料编制与数据的有效性(白学军, 孟红霞等, 2011; 沈德立 等, 2010), 本部分研究将选取小学三年级学生作为阅读水平初级组, 选取普通大学生作为阅读水平熟练组。实验 5 保持中央凹负荷不变, 考察副中央凹负荷对儿童预视范围的影响, 预视词为双字词, 副中央凹负荷操纵同实验 2, 预视窗口有 0 字、1 字、2 字和正常预视(小学生知觉广度右侧范围是 1~2 字; 闫国利 等, 2011, 2018)。我们预测, 与成人相比, 儿童的预视范围更小, 副中央凹负荷效应更大。而且, 如果副中央凹负荷调节预视范围, 由 E-Z 读者模型可推测, 副中央凹低负荷时儿童提取的预视范围(2 字)大于副中央凹高负荷条件(1 字), 成人在两种副中央凹负荷下的预视范围都大于 2 字。如果副中央凹负荷不调节预视范围, 那么儿童与成人的预视范围在两种副中央凹负荷下均不变。实验 6 和实验 7 在保持副中央凹负荷不变时, 分别考察中央凹负荷如何影响儿童对预视词 n+1 的加工范围与程度, 对中央凹负荷的操纵同实验 3, 对预视范围的操纵同实验 5, 对预视程度的操纵包括相同、字形和无关预视(小学生能稳定获得字形预视; 刘敏, 李赛男, 刘妮娜, 王正光, 闫国利, 2019; 闫国利 等, 2011)。我们预测, 成人的中央凹负荷效应不显著, 而儿童会表现出更大的中央凹负荷效应。而且, 如果中央凹负荷调节预视范围, 根据 SWIFT 模型, 那么中央凹低负荷条件下儿童的预视范围(2 字)大于中央凹高负荷条件(1 字); 成人的预视范围在两种中央凹负荷下相似(都大于 2 字)。如果中央凹负荷调节预视程度, 由 E-Z 读者模型可推测, 与中央凹高负荷相比, 在中央凹低负荷时儿童可以提取字形预视且提取的预视量更大; 反之, 根据 SWIFT 模型, 与中央凹低负荷相比, 儿童在中央凹高负荷时可以提取字形预视且提取的预视量更大; 成人的预视程度在两种负荷下相似。

研究三第二部分关注拥有熟练阅读技能的成人读者。在保证阅读理解等同的前提下, 阅读速度越快表明阅读效率越高, 阅读速度越慢则表明阅读效率越低(Hawelka, Schuster, Gagl, & Hutzler, 2015; Rayner et al., 2010)。因此, 研究三以快速与慢速读者为对象, 来检验阅读效率对预视范围与程度的影响, 包括 3 个实验。实验 8 在保持中央凹负荷不变时, 考察副中央凹负荷如何影响快速

与慢速读者的预视范围(为了提高实验操纵效率，预视范围设为 1 字、2 字、3 字和正常预视条件)。实验材料同实验 2。首先预测，快速读者比慢速读者获得的预视范围更大，副中央凹负荷效应更小。如果副中央凹负荷调节预视范围，由 E-Z 读者模型推测，在副中央凹高负荷时快速读者的预视范围比慢速读者更大；在副中央凹负荷低时，两组被试没有差异。如果副中央凹负荷不调节预视范围，那么无论副中央凹负荷高低，两组读者的预视范围无显著变化。实验 9 在保持副中央凹负荷稳定时来探讨中央凹负荷如何调节快速与慢速读者的预视范围，实验材料和中央凹负荷的操纵同实验 3，预视范围的操纵同实验 8。实验 10 将探讨中央凹负荷对快速与慢速读者预视类型的影响，实验材料和操纵同实验 4。整体假设为，快速读者比慢速读者的中央凹负荷效应更小、预视范围更大。而且，如果中央凹负荷调节预视范围，由 SWIFT 模型可知，中央凹高负荷时，快速读者比慢速读者获得的预视范围更大；而在中央凹低负荷时，两组没有差异。如果中央凹负荷调节预视程度，根据 E-Z 读者模型可知，在中央凹高负荷时，快速读者比慢速读者获得的预视类型更多、预视量更大；在中央凹低负荷时，两组提取的预视量或预视类型没有差异。根据 SWIFT 模型，中央凹负荷高时，慢速读者获得的预视类型和预视量多于快速读者；在中央凹负荷低时，两组没有差异。

5 理论建构

副中央凹预加工使阅读具有预期性，使眼动行为具有计划性，能反映读者的阅读能力及其所使用的阅读策略，是预测阅读发展与衡量阅读效率的一种重要且有效的指标(闫国利 等，2018; Blythe & Joseph, 2011; Rayner et al., 2016; Schotter et al., 2012)。然而，当前的眼动控制理论对副中央凹预加工机制的解释存在争议和不足，相关的实证研究结果很不一致。本项研究将以中文阅读为考察对象，在保证有效操控中央凹信息与副中央凹信息的前提下，分别从预视的空间与时间维度、从中央凹区与副中央凹区以及从初学者到普通的熟练读者再到高效率读者三条“路线”详细考察副中央凹预加工情况。这对检验“中央凹负荷假说”及解决 E-Z 读者模型与 SWIFT 模型对预视的争论具有重要启示。

第一，“中央凹负荷假说”理论上强调中央凹负荷对预视范围的调节作用，但该假说在提出时依据的实证数据是关于预视时间维度的，提出者没有区分预加工的时间与空间维度(Henderson & Ferreira, 1990)。我们按照空间与时间维度将预加工区分为预视范围与预视程度，通过考察中央凹负荷对预视范围与预视程度的影响，可以直接检验“中央凹负荷假说”，来明确中央凹负荷调节效应是反映在预视范围上还是预视程度上，或者二者兼有。

第二，E-Z 读者模型与 SWIFT 模型对副中央凹预视的解释建立在“中央凹负荷假说”上，前者借鉴了 Henderson 和 Ferreira(1990)关于中央凹负荷调节预视量的研究结论(Reichle, 2011)，后者则吸收了他们关于中央凹负荷调节预视范围的观点(Schad & Engbert, 2012)。另外，两种理论都关注预视的词个数，忽视了预视词本身的空间分布。我们将预视范围区分为预视的词个数和单个预视词的空间分布。本项研究对预视范围的考察聚焦在预视词 n+1 上。明确中央凹负荷对预视范围与预视程度的作用，可以检验及拓展 E-Z 读者模型与 SWIFT 模型的理论假设。如果中央凹负荷的调节作用只涉及预视程度，并且是正向的调节作用，则验证了 E-Z 读者模型；若是反向的调节作用，则验证了 SWIFT 模型。相反，如果中央凹负荷的调节只涉及预视范围，那么 E-Z 读者模型对注意转移与执行眼跳发生时间的假设有待于调整，而 SWIFT 模型对中央凹词与副中央凹词平行加工的观点将受到挑战。

第三，在模型的适用群体上，尽管 E-Z 读者模型与 SWIFT 模型开始关注儿童与老年读者，E-Z 读者模型还成功模拟了他们在阅读中的眼动行为(McGowan & Reichle, 2018; Reichle et al., 2013)，但是两种模型没有具体对预视在时间和空间维度上的发展变化及个体差异进行解释。本项研究对预视的发展特点与个体差异的考察，既可以为解决阅读眼动模型的争论提供更多的实证数据，也可以为拓展模型的适用范围提供启示。

参考文献

白学军，刘娟，臧传丽，张慢慢，郭晓峰，闫国利. (2011). 中文阅读过程中的副中央凹预视效应. *心理科学进展*,

19(12), 1721–1729.

白学军, 刘丽萍, 闫国利. (2008). 阅读句子过程中词跳读的眼动研究. *心理科学*, *31*(5), 1045–1048.

白学军, 孟红霞, 王敬欣, 田静, 臧传丽, 闫国利. (2011). 阅读障碍儿童与其年龄和能力匹配儿童阅读空格文本的注视位置效应. *心理学报*, *43*(8), 851–862.

李玉刚, 黄忍, 滑慧敏, 李兴珊. (2017). 阅读中的眼跳目标选择问题. *心理科学进展*, *25*(3), 404–412.

梁菲菲, 王永胜, 杨文, 白学军. (2017). 阅读水平调节儿童阅读眼动注视模式的发展: 基于 9~11 岁儿童的证据. *心理学报*, *49*(4), 450–459.

刘敏, 李赛男, 刘妮娜, 王正光, 闫国利. (2019). 2~5 年级小学生汉字识别中预视效应的发展研究. *心理发展与教育*, *35*(4), 447–457.

沈德立, 白学军, 臧传丽, 闫国利, 冯本才, 范晓红. (2010). 词切分对初学者句子阅读影响的眼动研究. *心理学报*, *42*(2), 159–172.

王永胜, 白学军, 臧传丽, 高晓雷, 郭志英, 闫国利. (2016). 副中央凹中字 N+2 的预视对汉语阅读眼跳目标选择影响的眼动研究. *心理学报*, *48*(1), 1–11.

王永胜, 陈茗静, 赵冰洁, 李馨, 白宇鸽. (2017). 副中央凹中字 N+1 与字 N+2 在眼跳目标选择中的作用. *心理与行为研究*, *15*(6), 756–765.

王永胜, 赵冰洁, 陈茗静, 李馨, 闫国利, 白学军. (2018). 中央凹加工负荷与副中央凹信息在汉语阅读眼跳目标选择中的作用. *心理学报*, *50*(12), 1336–1345.

熊建萍, 闫国利, 白学军. (2009). 不同年级学生汉语阅读知觉广度的眼动研究. *心理科学*, *32*(3), 584–587.

闫国利, 伏干, 白学军. (2008). 不同难度阅读材料对阅读知觉广度影响的眼动研究. *心理科学*, *31*(6), 1287–1290.

闫国利, 李赛男, 王亚丽, 刘敏, 王丽红. (2018). 小学二年级学生汉语阅读知觉广度的眼动研究. *心理科学*, *41*(4), 849–855.

闫国利, 王丽红, 巫金根, 白学军. (2011). 不同年级学生阅读知觉广度及预视效益的眼动研究. *心理学报*, *43*(3), 249–263.

臧传丽, 鹿子佳, 白玉, 张慢慢. (2018). 阅读过程中的词跳读及其产生的认知机制. *心理与行为研究*, *16*(4), 477–483.

臧传丽, 鹿子佳, 张志超. (2019). 语义和句法信息在副中央凹加工中的作用. *心理科学进展*, *27*(1), 11–19.

臧传丽, 张慢慢, 郭晓峰, 刘娟, 闫国利, 白学军. (2012). 中文词汇加工的若干效应: 基于眼动研究的证据. *心理科学进展*, *20*(9), 1382–1392.

Angele, B., Laishley, A. E., Rayner, K., & Liversedge, S. P. (2014). The effect of high- and low-frequency previews and sentential fit on word skipping during reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *40*(4), 1181–1203.

Ashby, J., Yang, J., Evans, K. H. C., & Rayner, K. (2012). Eye movements and the perceptual span in silent and oral reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *74*(4), 634–640.

Blythe, H. I., & Joseph, H. S. S. L. (2011). Children's eye movements during reading. In S. P. Liversedge, I. D. Gilchrist, & S. Everling (Eds.), Oxford library of psychology. *The Oxford handbook of eye movements* (pp. 643–662). New York, NY, US: Oxford University Press.

Brysbaert, M., Drieghe, D., & Vitu, F. (2005). Word skipping: Implications for theories of eye movement control in reading. In G. Underwood (Ed.), *Cognitive processes in eye guidance* (pp. 53–77). New York, NY, US: Oxford University Press.

Chace, K. H., Rayner, K., & Well, A. D. (2005). Eye movements and phonological parafoveal preview: Effects of reading skill. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *59*(3), 209–217.

Chen, H. C., & Tang, C. K. (1998). The effective visual field in reading Chinese. *Reading and Writing*, *10*, 245–254.

Clifton, C., Ferreira, F., Henderson, J. M., Inhoff, A. W., Liversedge, S. P., Reichle, E. D., & Schotter, E. R. (2016). Eye movements in reading and information processing: Keith Rayner's 40 year legacy. *Journal of Memory and Language*, *86*, 1–19.

Drieghe, D. (2008). Foveal processing and word skipping during reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, *15*(4), 856–860.

Drieghe, D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2005). Eye movements and word skipping during reading revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *31*(5), 954–969.

Engbert, R., & Kliegl, R. (2011). Parallel graded attention models of reading. In S. P. Liversedge, I. D. Gilchrist, & S. Everling (Eds.), *The Oxford handbook of eye movements* (pp.787–800). New York, NY, US: Oxford University Press.

Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, *112*(4), 777–813.

Häikiö, T., Bertram, R., Hyönä, J., & Niemi, P. (2009). Development of the letter identity span in reading: Evidence from the eye movement moving window paradigm. *Journal of Experimental Child Psychology*, *102*(2), 167–181.

Hawelka, S., Schuster, S., Gagl, B., & Hutzler, F. (2015). On forward inferences of fast and slow readers. An eye movement study. *Scientific Reports*, *5*, 8432.

Henderson, J. M., & Ferreira, F. (1990). Effects of foveal processing difficulty on the perceptual span in reading: Implications for attention and eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16* (3), 417–429.

Huestegge, L., Radach, R., Corbic, D., & Huestegge, S. M. (2009). Oculomotor and linguistic determinants of reading development: A longitudinal study. *Vision Research*, *49*(24),

2948–2959.

Hyönä, J. (1995). Do irregular letter combinations attract readers' attention? Evidence from fixation locations in words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*(1), 68–81.

Inhoff, A. W., Radach, R., Eiter, B. M., & Juhasz, B. (2003). Distinct subsystems for the parafoveal processing of spatial and linguistic information during eye fixations in reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *56*(5), 803–827.

Inhoff, A. W., & Rayner, K. (1986). Parafoveal word processing during eye fixations in reading: Effects of word frequency. *Perception & Psychophysics*, *40*(6), 431–439.

Juhasz, B. J., White, S. J., Liversedge, S. P., & Rayner, K. (2008). Eye movements and the use of parafoveal word length information in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*(6), 1560–1579.

Kennison, S. M., & Clifton, C. (1995). Determinants of parafoveal preview benefit in high and low working memory capacity readers: Implications for eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *21*(1), 68–81.

Kliegl, R., Hohenstein, S., Yan, M., & McDonald, S. A. (2013). How preview space/time translates into preview cost/benefit for fixation durations during reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *66*(3), 581–600.

Li, X. S., Bicknell, K., Liu, P. P., Wei, W., & Rayner, K. (2014). Reading is fundamentally similar across disparate writing systems: A systematic characterization of how words and characters influence eye movements in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: General*, *143*(2), 895–913.

Li, X. S., Zang, C. L., Liversedge, S. P., & Pollatsek, A. (2015). The role of words in Chinese reading. In Pollatsek, A., & Treiman, R. (Eds), Oxford library of psychology. *The Oxford handbook of reading* (pp. 232–244). New York, NY, US: Oxford University Press.

Liu, W. M., Inhoff, A. W., Ye, Y., & Wu, C. L. (2002). Use of parafoveally visible characters during the reading of Chinese sentences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *28*(5), 1213–1227.

Liu, Y. P., Reichle, E. D., & Li, X. S. (2015). Parafoveal processing affects outgoing saccade length during the reading of Chinese. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *41*(4), 1229–1236.

Liu, Y. P., Reichle, E. D., & Li, X. S. (2016). The effect of word frequency and parafoveal preview on saccade length during the reading of Chinese. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *42*(7), 1008–1025.

Liu, Y. P., Yu, L., & Reichle, E. D. (2019). The dynamic adjustment of saccades during Chinese reading: Evidence from eye movements and simulations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *45*(3), 535–543.

Liversedge, S. P., Zang, C. L., Zhang, M. M., Bai, X. J., Yan, G. L., & Drieghe, D. (2014). The effect of visual complexity and word frequency on eye movements during Chinese reading. *Visual Cognition*, *22*(3-4), 441–457.

Marx, C., Hawelka, S., Schuster, S., & Hutzler, F. (2017). Foveal processing difficulty does not affect parafoveal preprocessing in young readers. *Scientific Reports*, *7*, 41602.

McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, *17*(6), 578–586.

McConkie, G. W., & Rayner, K. (1976). Asymmetry of the perceptual span in reading. *Bulletin of the Psychonomic Society*, *8*(5), 365–368.

McDonald, S. A. (2005). Parafoveal preview benefit in reading is not cumulative across multiple saccades. *Vision Research*, *45*(14), 1829–1834.

McGowan, V. A., & Reichle, E. D. (2018). The “risky” reading strategy revisited: New simulations using E-Z Reader. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *71*(1), 179–189.

Miellet, S., O'Donnell, P. J., & Sereno, S. C. (2009). Parafoveal magnification: Visual acuity does not modulate the perceptual span in reading. *Psychological Science*, *20*(6), 721–728.

Pollatsek, A., Tan, L. H., & Rayner, K. (2000). The role of phonological codes in integrating information across saccadic eye movements in Chinese character identification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *26*(2), 607–633.

Rayner, K. (1975). The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology*, *7*(1), 65–81.

Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, *41*(2), 211–236.

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, *124*(3), 372–422.

Rayner, K. (2009). The Thirty-fifth Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*(8), 1457–1506.

Rayner, K., & Bertera, J. H. (1979). Reading without a fovea. *Science*, *206*(4417), 468–469.

Rayner, K., Castelhano, M. S., & Yang, J. M. (2009). Eye movements and the perceptual span in older and younger readers. *Psychology and Aging*, *24*(3), 755–760.

Rayner, K., Inhoff, A. W., Morrison, R. E., Slowiaczek, M.

L., & Bertera, J. H. (1981). Masking of foveal and parafoveal vision during eye fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *7*(1), 167–179.

Rayner, K., Schotter, E. R., Masson, M. E. J., Potter, M. C., & Treiman, R. (2016). So much to read, so little time: How do we read, and can speed reading help?. *Psychological Science in the Public Interest*, *17*(1), 4–34.

Rayner, K., Slattery, T. J., & Bélanger, N. N. (2010). Eye movements, the perceptual span, and reading speed. *Psychonomic Bulletin & Review*, *17*(6), 834–839.

Rayner, K., Slattery, T. J., Drieghe, D., & Liversedge, S. P. (2011). Eye movements and word skipping during reading: effects of word length and predictability. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *37*(2), 514–528.

Reichle, E. D. (2011). Serial-attention models of reading. In S. P. Liversedge, I. D. Gilchrist, & S. Everling (Eds.), *The Oxford handbook of eye movements* (pp.767–786). New York, NY, US: Oxford University Press.

Reichle, E. D., & Drieghe, D. (2013). Using E-Z reader to examine word skipping during reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *39*(4), 1311–1320.

Reichle, E. D., Liversedge, S. P., Drieghe, D., Blythe, H. I., Joseph, H. S. S. L., White, S. J., & Rayner, K. (2013). Using E-Z Reader to examine the concurrent development of eye-movement control and reading skill. *Developmental Review*, *33*(2), 110–149.

Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D. L., & Rayner, K. (1998). Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological Review*, *105*(1), 125–157.

Reingold, E. M., Reichle, E. D., Glaholt, M. G., & Sheridan, H. (2012). Direct lexical control of eye movements in reading: Evidence from a survival analysis of fixation durations. *Cognitive Psychology*, *65*(2), 177–206.

Risse, S. (2014). Effects of visual span on reading speed and parafoveal processing in eye movements during sentence reading. *Journal of Vision*, *14*(8), 1–13.

Risse, S., Engbert, R., & Kliegl, R. (2008). Eye-movement control in reading: Experimental and corpus-analysis challenges for a computational model. In K. Rayner, D. Shen, X. Bai, & G. Yan (Eds.), *Cognitive and cultural influences on eye movements* (p. 68). Tianjin: Tianjin People's Publishing House.

Schad, D. J., & Engbert, R. (2012). The zoom lens of attention: Simulating shuffled versus normal text reading using the SWIFT model. *Visual Cognition*, *20*(4–5), 391–421.

Schotter, E. R., Angele, B., & Rayner, K. (2012). Parafoveal processing in reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *74*(1), 5–35.

Schotter, E. R., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2014). Rethinking parafoveal processing in reading: Serial-attention models can explain semantic preview benefit and N+2 preview effects. *Visual Cognition*, *22* (3–4), 309–333.

Schroyens, W., Vitu, F., Brysbaert, M., & d'Ydewalle, G. (1999). Eye movement control during reading: Foveal load and parafoveal processing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, *52*(4), 1021–1046.

Sereno, S. C., Hand, C. J., Shahid, A., Yao, B., & O'Donnell, P. J. (2018). Testing the limits of contextual constraint: Interactions with word frequency and parafoveal preview during fluent reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *71*(1), 302–313.

Tsai, J.-L., Lee, C.-Y., Tzeng, O. J. L., Hung, D. L., & Yen, N.-S. (2004). Use of phonological codes for Chinese characters: Evidence from processing of parafoveal preview when reading sentences. *Brain and Language*, *91*(2), 235–244.

Vasilev, M. R., & Angele, B. (2017). Parafoveal preview effects from word N+1 and word N+2 during reading: A critical review and Bayesian meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, *24*(3), 666–689.

Veldre, A., & Andrews, S. (2014). Lexical quality and eye movements: Individual differences in the perceptual span of skilled adult readers. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *67*(4), 703–727.

Veldre, A., & Andrews, S. (2015). Parafoveal preview benefit is modulated by the precision of skilled readers' lexical representations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *41*(1), 219–232.

Veldre, A., & Andrews, S. (2018). How does foveal processing difficulty affect parafoveal processing during reading? *Journal of Memory and Language*, *103*, 74–90.

White, S. J. (2007). Foveal load and parafoveal processing: The case of word skipping. In R. P. G. van Gompel, M. H. Fischer, W. S. Murray, & R. L. Hill (Eds.), *Eye movements: A window on mind and brain* (pp. 409–424). Amsterdam: Elsevier.

White, S. J., & Liversedge, S. P. (2006). Foveal processing difficulty does not modulate non-foveal orthographic influences on fixation positions. *Vision Research*, *46*(3), 426–437.

White, S. J., Rayner, K., & Liversedge, S. P. (2005). Eye movements and the modulation of parafoveal processing by foveal processing difficulty: A reexamination. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(5), 891–896.

Yan, M. (2015). Visually complex foveal words increase the amount of parafoveal information acquired. *Vision Research*, *111*, 91–96.

Yan, M., Kliegl, R., Shu, H., Pan, J., & Zhou, X. L. (2010). Parafoveal load of word N+1 modulates preprocessing effectiveness of word N+2 in Chinese reading. *Journal of*

Experimental Psychology: Human Perception and Performance, *36*(6), 1669–1676.

Yang, J., Rayner, K., Li, N., & Wang, S. (2012). Is preview benefit from word n+2 a common effect in reading Chinese? Evidence from eye movements. *Reading and Writing*, *25*(5), 1079–1091.

Yang, J., Wang, S., Xu, Y., & Rayner, K. (2009). Do Chinese readers obtain preview benefit from word n+2? Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *35*(4), 1192–1204.

Yen, M.-H., Tsai, J.-L., Tzeng, O. J. L., & Hung, D. L. (2008). Eye movements and parafoveal word processing in reading Chinese. *Memory and Cognition*, *36*(5), 1033–1045.

Zang, C., Du, H., Bai, X., Yan, G., & Liversedge, S. P. (2019). Word skipping in Chinese reading: The role of high-frequency preview and syntactic felicity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*. http://dx.doi.org/10.1037/xlm0000738.

Zang, C., Fu, Y., Bai, X., Yan, G., & Liversedge, S. P. (2018). Investigating word length effects in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 44*(12), 1831–1841.

Zang, C., Liversedge, S. P., Bai, X., & Yan, G. (2011). Eye movements during Chinese reading. In S.P. Liversedge, I.D. Gilchrist, & S. Everling. (Eds). *The Oxford handbook on eye movements* (pp. 961–978). New York, NY, US: Oxford University Press.

Zhang, M., Liversedge, S. P., Bai, X., Yan, G., & Zang, C. (2019). The influence of foveal lexical processing load on parafoveal preview and saccadic targeting during Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *45*(6), 812–825.

The spatial extent and depth of parafoveal pre-processing during Chinese reading

ZHANG Manman; ZANG Chuanli; BAI Xuejun

(*Key Research Base of Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education, Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University; Faculty of Psychology, Tianjin Normal University; Center of Collaborative Innovation for Assessment and Promotion of Mental Health, Tianjin* 300387, *China*)

Abstract: The ability to pre-process information from the parafovea, a hallmark component of skilled reading (Blythe & Joseph, 2011), refers to the fact that readers visually and linguistically analyse upcoming words prior to their direct fixation. Previous findings regarding depth of pre-processing effects that are based on alphabetic language reading are mixed. One very important reason is that there is considerable variability in the length of target words in those studies conducted on alphabetic reading scripts. By contrast, it is possible to conduct such studies in Chinese to allow for parafoveal processing of text to be operationalized over characters without length variability. Chinese is a language with characteristics that are optimal for investigating parafoveal processing. The present project will take advantage of Chinese text characteristics to examine three aspects of parafoveal processing by using the eye tracking technique: (1) the first study aims at exploring how parafoveal load affects the spatial extent of pre-processing; (2) the second study attempts to examine whether and how foveal load influences the spatial extent and depth of pre-processing; on the basis of the first two studies, (3) the third study will investigate how reading skill modulates the spatial and depth effects of parafoveal processing, and also how reading efficiency interacts with spatial extent and depth of pre-processing. The findings of the current project will seek to illuminate currently controversial issues on parafoveal processing, and will be beneficial for examining and extending the current reading models of eye movement control (e.g., E-Z reader model, SWIFT model).

Key words: Chinese reading; the spatial extent of parafoveal pre-processing; the depth of parafoveal pre-processing; eye movements